

# 광업의 디지털 전환 동향

정수미\*

## 1. 개요

광산업계는 복잡한 채굴 및 공정 과정과 정치·경제적 불안정성, 사회·환경적 문제로 인한 변동성에 쉽게 영향을 받는 산업 중 하나이다. 지난 10여 년이 넘는 기간 동안 광산업계는 광물 가격의 하락, 중국의 산업화 둔화에 따른 국제 수요 하락, 광업 자체가 내포하고 있는 광산의 심부화<sup>1)</sup>, 광물자원 고갈에 따른 광석 품위(ore grade) 저하, 새로운 광산 개발의 어려움 등으로 전체공정의 채산성이 악화되고 비용은 증가해 왔다. 이처럼 생산성이 지속적으로 하락하고 있는데 비해 광산업의 혁신은 다소 정체되어 있기도 하였다. 하지만 최근 4차 산업혁명과 더불어 광업 기술혁신과 디지털화를 통한 광산 개발·운영의 최적화가 광산 생태계 개선 및 생산성 향상을 꾀할 수 있는 돌파구가 될 것으로 주목받고 있다.

이에 따라, 본고에서는 광업에서의 디지털 전환, 즉 디지털 마이닝(Digital Mining)의 동향에 대해 알아보고자 한다.

\* 정보통신정책연구원 국제협력연구실 연구원, 043)531-4217, smjeong@kisdi.re.kr

1) 광물의 채굴이 계속되면서 광산이 점점 깊어지는 현상

## 2. 본론

### 가. 디지털 마이닝

디지털 마이닝(Digital Mining)이란 정보기술 등을 광산에 접목해 광산의 탐사에서 개발 생산에 이르는 전과정을 효율·안정화하는 것이다.<sup>2)</sup> 광산 개발계획 수립, 인수 및 설계, 채광, 시설 장비의 운영, 현장 운영, 운송, 판매에 이르는 모든 과정에 통합 플랫폼 시스템을 구축하고 유기적인 데이터 연계를 통해 자동화된 채광을 실현하는 패러다임이다. 디지털 마이닝은 원가절감과 생산성 향상에 도움이 되고, 정보화된 광산 환경을 조성하여 근로자와 장비의 안전한 운영에도 큰 도움이 된다(한국경제, 2018.07.12.; 김현태, 2019).

세계경제포럼(WEF)에서는 디지털화가 현재의 광산 생태계를 변화시키고 광산업 전 단계에서 지속가능한 개발 능력을 향상시킬 수 있는 원동력이라고 보았고, 이러한 혁신을 통해 전통적인 광산업계의 가치사슬에도 큰 변혁이 생길 것으로 전망하고 있다(WEF, 2017). BHP Group이나 리오틴토(Rio Tinto)와 같은 세계의 메이저 광산회사들은 이미 자동화와 디지털화를 빠르게 도입하여 광산업의 효율 향상을 선도하고 있다.

### 나. 디지털 마이닝 핵심 기술

광업의 사업 단계는 일반적으로 다음과 같은 프로세스를 따르며 ICT 기술은 광업의 전 단계에서 통합적으로 활용되고 있다:

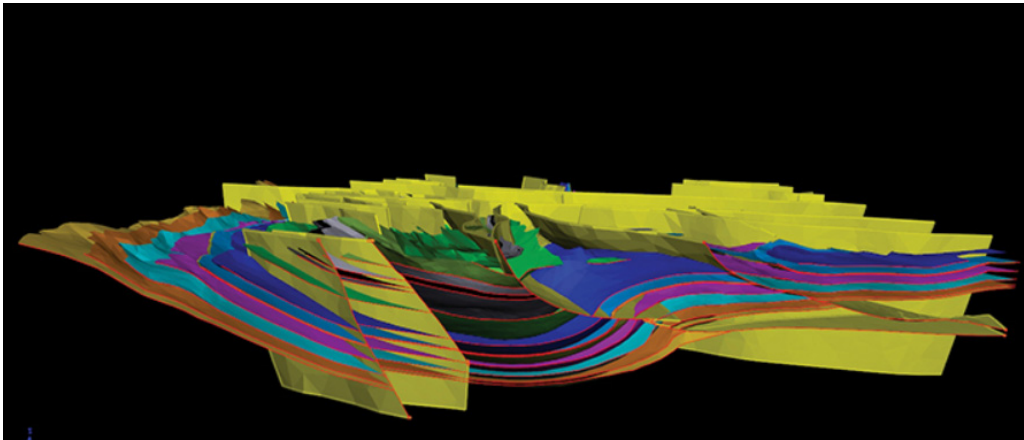
탐사(지질조사, 시추, 자원량 산출, 광산 최적 개발계획 수립) → 광산 개발(운영권 획득 후 채광장 건설) → 광산의 운영/생산(채굴) → 운반 → 가공, 정/제련 공정 → 수송 → 트레이딩/판매

2) 스마트 마이닝(Smart Mining)이라고도 함

### □ 탐사/개발 단계

광물탐사는 새로운 광산의 개발을 위해 광석이 존재할 가능성이 큰 지질학적 징후를 기반으로 시추나 트렌치 조사를 통해 광물자원을 찾아내는 것이다. 최근 광물탐사에서는 지질학적 불확실성을 극복하기 위해 3D 지질 모델 기반의 융합 해석 기법이 사용되고 있다(김현태, 2019). 3D 모델링은 지하공간에 대한 다이어그램을 형성하는 기술로, 드론을 활용해 대상 지역을 스캐닝 후 3차원의 맵핑이 가능하다. 이 테크닉을 활용하면 잠재광상(ore deposit), 품위 분포를 산정하여 채광 설계 소프트웨어와 연계해 채광 설계 및 시뮬레이션에 활용할 수 있다. 실제로 가보기 힘든 곳까지 탐사 가능 지역이 확장되기 때문에 위험성이 있는 미답 지역에 탐사 인력을 보내지 않고 안전문제를 개선할 수 있다(Mining Technology, 2019.4.10.; 조성준, 2016.04.06.).

[그림 1] 3D 지질 모델링

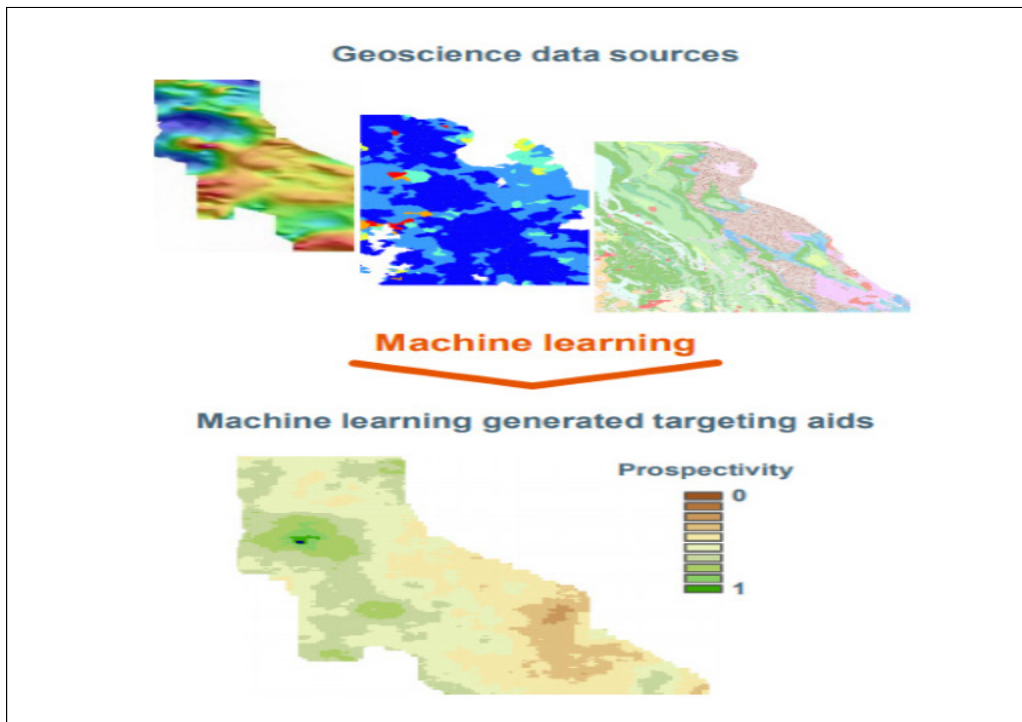


자료: 조성준(2016.04.06.)

이 단계에서 AI를 활용하여 목표가 되는 광상 데이터를 훈련 지역으로 선정하여 탐사 기준을 학습시킨 뒤, 탐사 대상 목표지역을 평가할 수도 있다. 인공지능을 이용한 광물탐사는 사용할 수 있는 데이터의 종류와 성격에 따라 다른 종류의 인공지능 기법을 적용한다. 호주 Earth AI(2019)의 경우 대상 지역의 기초적인 탐사 데이터가 존재하는 브라운

필드(Brown Field)를 대상으로 광종별 탐사 모델을 구축하여, 이를 인공지능 학습에 포함되지 않은 브라운 필드나 탐사가 이루어지지 않았던 그린 필드(Green Field)에 적용하여 광물 매장 가능성이 높은 지역을 찾아내고, 이 결과를 바탕으로 좀 더 직접적인 탐사를 진행할 수 있다. [그림 2]는 호주 BHP가 자체 탐사 프로그램을 사용하여 페루에서 실시한 인공지능을 이용한 광물탐사의 예시이다(장형두, 2019).

[그림 2] BHP의 인공지능 광물탐사



자료: 장형두(2019)

광산 개발에는 가상현실(VR) 기술도 활용된다. VR 기법은 헤드 디스플레이 폰, 스피커, 촉각센서 등의 하드웨어, 2차원 및 3차원 그래픽 장치 및 소프트웨어를 이용하여 물리적 현실을 가상으로 재현함으로써 미래 채광 공정을 사전에 알 수 있게 하여 광산 운영에 필요한 숨겨진 데이터 생산이 가능하게 된다. 미국 국립직업안전 건강연구소(NIOSHR)는

‘VR Mine’이라는 광산용 VR 시스템을 개발했다. 시스템 상에서 광산 구조도, 통기 조절 시설, 광산 전기시설 및 채광 장비의 위치 등을 표현할 수 있고, 사용자는 이 시스템을 사용하여 지하 석탄광에서 채광롭과 광물 기동 부분을 자동으로 생성하여, 보이지 않는 공정을 사전에 재현할 수 있다(김현태, 2019).

#### □ 운영 단계

광산 운영 현장에서는 무인 트럭, 무인 열차, 로봇, 자동 드릴 및 발파 등 자동화 장비가 점점 더 보편화되고 있다. 현재 운영되는 무인 트럭은 사람에 의해 운영되는 로더, 그라인더, 화물차, 현장 운영용 차량과 함께 운영되기 때문에 안전한 운행을 위해서 Rader<sup>3)</sup>와 LiDAR<sup>4)</sup>를 이용한 충돌방지 시스템과 각 장비에 설치된 GPS(위치확인시스템)를 통한 실시간 통제 커뮤니케이션이 매우 중요하다. 트럭의 위치, 목적지까지의 경로, 다른 장비들의 위치 정보 및 근접 물체에 대한 정보는 지역 통신망과 GPS, 센서, IoT를 통해 무인 트럭, 현장 운영센터 및 원거리 통합 운영센터(Remote Operation Center)로 실시간으로 전송된다. 이처럼 실시간으로 수집된 데이터를 기반으로 트럭의 최적 배차, 장비의 위치 파악, 장비 상태 모니터링, 장비 배치, 장비 원격조정, 시설유지관리 트랙킹(tracking), 실시간 생산량 파악 등을 할 수 있게 되고 광산 운영의 통합 자동화 및 통합 의사결정이 가능해진다(김현태, 2019).

무인 트럭 시스템은 광산 자동화의 아이콘으로 인식되고 있어 메이저 광산 회사들은 막대한 초기 비용에도 불구하고, 무인 트럭의 수를 늘려가고 있다(장형두, 2019). 호주 서북부에 위치한 필바라(Pilbara) 지역은 철광석의 보고이다. [그림 3]은 필바라에 위치한 메이저 공급사 리오 틴토의 West Angelas 철광산의 무인 트럭 운행 모습이다. 자동 수송시스

3) 차량용 레이더는 차량의 전방과 측/후방에 상대 차량과 장애물의 위치 정보를 운전자에게 제공하며, 자율주행자동차에 있어 차량을 제어하고 운전자가 안전하게 주행할 수 있도록 도움(Techworld, 2018.08.10.)

4) 레이저로 대상물을 조사하여 반사되는 빛을 분석함으로써 거리를 측정하는 원격감지 기술(ams 웹사이트: [ams.com/ko/lidar](http://ams.com/ko/lidar))

템(Autonomous Haulage System) 기술을 도입한 리오틴토는 정유비(최대 10%), 유지비(14%), 타이어 교체비(12%), 인건비(5-10%)를 절약하여 세계에서 철광석 생산 비용이 가장 낮은 업체로 거듭나고 있다(Kotra, 2019.02.20.).

[그림 3] 리오 틴토의 무인트럭 운행 모습



자료: 장형두(2019)

필라라 지역의 광산 중에서도 로이힐(Roy Hill) 광산은 매장량이 23억 톤에 달하는 호주 최대의 철광석 광산이다. 이 광산에서는 지난 2015년 처음 10만 톤 규모의 철광석이 생산된 이래, 불과 4년 만에 생산 규모가 5,500만 톤 정도로 증가하였으며 이 생산 과정에서 사람의 손길이 거의 투입되지 않고 있다. 철광석 채굴작업에는 모두 9대의 대형 드릴이 투입되는데, 모두가 무인 시스템으로 운영된다. 작업자는 채굴 현장에서 약 8km 정도 떨어진 제어실에서 4명의 직원인 2교대로 모니 앞에 앉아 원격으로 24시간 작동하는 드릴을 작동시킨다. 드릴마다 설치된 카메라는 작업 현황을 실시간으로 보여주고, 제어실과 드릴이 무선으로 연결되어 있어 회전 속도 등을 조절할 수 있다(사이언스타임즈, 2018.12.06.).

광산 최적화를 위해서는 광산 전체에 대한 모니터링이 가능해야 하며 드론은 여기서도 중요한 역할을 담당한다. 드론은 매일 광산 전체를 모니터링하고 녹화하며, 녹화 영상을

한데 모아 초고속으로 재생하면 채굴한 원석의 야적 상황이나 물류의 흐름 등을 한 번에 파악할 수 있다(사이언스타임즈, 2018.12.06.). 드론을 통해 광산의 3차원 모델을 업데이트하면서 광산 통합 운영센터, 현장 운영센터, 무인 트럭 등에 전송해 광산 개발에 따른 광산 형상 변화를 무인 트럭 시스템에 실시간으로 반영할 수도 있다. 드론은 발파 후 파쇄도 및 채광장 광석 더미 등의 부피 계산이나 사면, 운반도로, 광미댐(tailing dam)<sup>5)</sup>안전에 관련된 모니터링 등 여러 분야에 사용되고 있다(장형두, 2019).

호주 리오 틴토의 3D 맵핑 기술인 RTVis는 광산 지표면과 지하 광체(ore body)<sup>6)</sup>의 정보를 실시간으로 모니터링하여 3차원 정보를 제공한다. 이 시스템은 광산의 무인 트럭 시스템, 무인 드릴 시스템(Autonomous Drill System)과 연계 운영되며, 구성된 3차원 정보를 광산 운영팀, 지질팀, 개발팀 등에 실시간으로 제공하여 광산 운영 의사결정을 돕고 있다(장형두, 2019).

[그림 4] 광산 현장을 관리하는 중앙 제어실



자료: Kotra 해외시장뉴스(2019.02.20.)

- 5) 광물 생산 이후 폐기물을 보관하는 댐
- 6) 채광 대상이 되는 광석의 부화대

이뿐만 아니라 현장의 직원들도 온디맨드, 실시간 푸시/풀 정보를 받고, 모바일 및 웨어블 디바이스(태블릿, 웨러블 안경, 시계, 심박수 측정기)를 통해 센서 및 로봇 등 기타 주변 기기들과 교신 할 수 있다. 이를 통해 끊임 없는 커뮤니케이션이 가능하며 원격으로도 실시간 진단/지시를 받을 수 있어 장비에 고장이 발견되면 즉시 수리할 수 있다. 또한, 직원들의 안전문제도 크게 개선할 수 있다. 호주의 리오 틴토, Anglo American, Newcrest Mining 등은 트럭 운전자 및 장비 작동 현장 직원들에게 스마트 야구모자(뇌파를 모니터링하고 피로도를 측정할 수 있는)를 제공하고 있다(WEF, 2017).

#### □ 공정 단계

대부분의 광산물은 순수한 물질로 이루어진 경우가 거의 없고, 각각의 생성 시기나 생성 환경, 풍화작용에 따라 매우 다양한 특성을 가진 원광 상태로 채굴된다. 이러한 불균질한 원광은 서로 다른 종류의 광물이 섞인 입자를 각각 종류별로 분리하는 단체분리 공정/선광(beneficiation)을 거치게 되며, 이는 주로 분쇄 공정(grinding)이나 부유선별(flotation)<sup>7)</sup>을 통해 이루어진다. 일반적으로 광물을 작게 분쇄할수록 유용한 광물을 회수하기도 쉽고 제품을 만들기도 쉬우나, 분쇄와 부유선별 공정은 비용이 크다. 최종 제품의 크기가 작으면 작을수록 공정에 소모되는 에너지도 기하급수적으로 증가한다. 따라서 분쇄 및 부유선별 시스템에 ICT 기술을 적용하는 경우가 많다.

최근 채광 및 선광 분야에서 핵심 기술은 다양한 공정 시그널을 획득하기 위한 센싱(sensing) 기술과 공정 상태를 인지 및 감시하는 모니터링 기술, 그리고 관련 공정을 원격으로 제어하는 알고리즘 개발 기술이다. 센싱 및 모니터링 수법으로는 (진동, 소음, 영상 신호) 등이 활용되고 있고 이를 통해 공정에서 다양한 기계, 전자, 광학, 광물학적 신호 획득이 가능하다. 신호획득에 따른 방대한 양의 데이터가 축적되면 이를 공정 제어 파라미

7) 부유선별은 미립화된 광물 입자가 분산된 용액(i.e., 광액)에서 다량의 기포를 발생시켜 기포 표면에 광물 입자를 부착하여 목적 광물 또는 맥석 광물(비목적 광물)을 띄워서 분리하는 공정이다(유광석, 2018)



터와 연동해 공정의 최적화가 가능해지며 모니터링 알고리즘 적용도 가능하다(유광석, 2018; 김현태, 2019). 독일의 로케(Loeche)사에서 개발한 분쇄 모니터링 시스템은 분쇄 속도, 장비의 진동, 변위 및 온도 등의 정보를 가상 사설 통신망(VPN) 시스템을 통해 송수신할 수 있게 설계되었다. 이 기술은 각 핵심부품에 센서를 장착하여 신호를 취득하고 취득된 자료를 인공지능 기법으로 분석하여 기기를 원격으로 실시간 관리하는 기술이다(김현태, 2019).

이뿐만 아니라 ICT와 IoT를 접목한 자동화된 선광기술을 통해 갓 채굴한 원광석을 쌓아두는 공간인 ROM(Run of Mine) 스트림 상에서 가치가 높은 광물을 폐광(waste)으로부터 미리 분류하여, 공정이 필요한 부분을 최소화해 에너지 절약 및 자본 비용 절약, 생산의 효율성을 높일 수 있다. 남아메리카 및 캐나다의 구리 광산에서는 NextOre 센서 시스템을 개발하여 현재 대규모 선광작업이 가능하다. 저품위 광물일 경우 빠르게 공정으로 올리거나 폐기를 판단할 수 있다. 광체의 특징에 따라 생산성 향상 정도는 다르나, 한번 선광되고 나면 평균 광석의 품위를 2배 정도 개선시키는 것으로 알려져 있고, 일부 구리광산에서의 공정 비용을 20% 정도 감소 시켜줄 수 있다고 한다(EY, 2019).

드론과 디지털 영상 처리 기술도 공정에 적용된다. 드론은 공장까지 운송되는 광물을 스캔하여 입자 크기, 분포 및 특징에 대한 정보를 수집하여 공장에 보낼 수 있다. 이후 어드밴스드 애널리틱스가 광물에 대한 정보를 확인하여 공장의 운영 파라미터를 최적화할 수 있다. 디지털 영상 처리 기법은 유색 광물의 부유선별 상태 제어 및 공정 운전에 따른 정광 패턴 인식 등에 이용되고, 이렇게 수집된 다양한 정보는 운전 파라미터에 따라 최적 부유선별 공정 조건을 확보할 수 있게 해준다(유광석, 2018).

디지털 트윈을 활용하면 물리적인 환경에서 가져온 실시간 데이터를 통해 공장의 몰입형 가상현실 레플리카(Virtual Replica)를 생성할 수 있고, 다양한 시나리오를 테스트 해 보고 공장 제어 시스템을 최적화하여 처리량을 늘릴 수도 있다. 칠레의 한 글로벌 광산회사는 반자동 분쇄기(Semi-Autogenous Grinding Mills)의 성능 최적화를 위해 디지털 트윈을 활용하고 있다. 데이터가 분쇄기의 트윈을 트레이닝 하여, 다양한 시나리오 하에

진짜 분쇄기의 퍼포먼스가 어떠한지를 예측할 수 있도록 하였다. 예측된 최적화를 통하여 처리량이 증가되어 매년 \$40백만 정도의 수입 증가를 달성할 수 있다고 한다(EY, 2019).

전통적으로 광업에서는 자원의 채굴에서 생산까지의 상류 작업과 수송에서 공정을 거쳐 판매까지 하는 하류 작업 간의 통합이 거의 부재한 편이었다. 하지만 앞서 언급된 다양한 최신 ICT 기술을 통해 공장에 들어가는 광물의 구성을 파악할 수 있게 되어 통합 운영 센터에서는 상류의 드릴 및 발파(drill and blast) 등의 생산 작업과 공정 작업과의 통합도 달성할 수 있게 되었다(EY, 2019).

#### □ 운송 단계

광업에서 광물을 적재한 후 항구까지 장거리 수송을 위해 가장 빈번히 사용되는 운송수단은 열차이다. 호주의 광업회사인 리오 틴토는 2018년부터 세계 최초로 철광석을 적재한 자동 무인 화물열차를 운행하고 있다. 2018년 처음으로 화물열차가 28,000톤의 철광석을 적재하고 리오틴토의 톰 프라이스(Tom Price) 광산을 출발하여, 280km 떨어진 케이프 램버트(Cape Lambert)항까지 기관사가 승차하지 않은 채 운행에 성공하였다. 열차는 1,500km 이상 떨어진 퍼스(Perth)에 있는 회사 열차 운행통제센터에서 원격 조정하였다. 앞으로는 매년 800만km 이상 운행거리의 필바라 지역에서 자동화물열차를 운행할 예정이다. 자동 수송 기관차에 장치된 소프트웨어는 내장된 카메라와 연결되어 중앙통제센터에서 언제든지 운행 상황을 모니터링할 수 있도록 되어 있다(레일 뉴스, 2018.07.26.). 현재 호주에서는 리오틴토의 약 200대 기관차가 16개 광산에서 4개의 항구 터미널로 운송하고 있다(KOTRA, 2019.02.20.).

항구까지 수송이 완료되어 광물이 선적되고 나면 조석주기별(tide-cycle) 기상상황에 따라 운송 스케줄에 변동이 있을 수 있다. 하지만 엔드-투-엔드 통합 코디네이션을 통하면 이 또한 개선이 가능하다. 데이터 애널리틱스는 기업 ERP, 생산성 데이터, BOM(Bill of Material)등과 같은 내부 데이터와 해양 기상정보와 같은 외부 데이터를 바탕으로 운송 스케줄을 최적화할 수 있다. 선적 플랫폼은 이와 같은 내·외부 정보를 활용하여 생산

오더를 조석 주기와 매칭하여 배송 누락과 관련된 막대한 비용을 줄일 수 있고 실시간으로 선박을 트래킹 할 수도 있어서 최적의 운송 날짜와 루트상 최적의 항구를 파악할 수 있도록 도와주고 있다(EY, 2019).

#### □ 트레이딩/판매 단계

블록체인 기술은 가상화폐의 관리뿐만 아니라 정보를 안전하게 인증된 형태로 기록할 수 있다는 특징 때문에 광산업에도 적용이 되고 있다. 2018년 PwC 리포트에 따르면 다이아몬드에 QR 코드를 찍어 블록체인 기술을 활용하면 다이아몬드가 생산된 광산에서부터 최종 사용자까지 추적하여, 다이아몬드의 품질과 진품성(authenticity)을 보장할 수 있다. 이 프로세스를 통하면 사기 판매 등을 최소화할 수 있게 되고, 고객이 다이아몬드가 어디서 채굴되는지 알 수 없기 때문에 생기는 불법 채광, 피의 다이아몬드(blood diamond, conflict diamond) 등의 불법 출처를 방지하기 위해 활용될 수도 있다(Mining Technology, 2019.4.10.).

드비어스(De Beers)사와 Alrosa는 다이아몬드 트레이딩에 있어 블록체인 기반의 솔루션 사용 협업을 하여 불법 다이아몬드 거래를 봉쇄하고 있다. 드비어스는 Tracr이라고 불리는 블록체인 플랫폼을 구축, 디지털 증명서를 발급하여 컴퓨터 네트워크를 통해 안전하게 엔드-투-엔드 문서화(documentation)와 거래 관리를 하고 있다. 이를 통해 다이아몬드의 진품성 증명, 자산추적(asset-traceability)의 보증(assurance) 및 프로세스의 효율성 증진을 꾀하고 있다(EY, 2019).

#### □ 전 단계 통합운영(Integrated Operation)

전통적으로 광업에서는 공급망의 각 부분에서 독립적인 계획과 스케줄링이 이뤄졌고 공급망 전체 프로세스에 걸쳐 통합된 계획을 설계하는 것이 어려웠다. 하지만 통합 플랫폼(빅데이터, 클라우드, 디지털 트윈, 어드밴스드 애널리틱스 모델링, 통합 관리 등의 기술 사용)을 통해 이제는 채광에서 공정, 운송, 트레이딩까지의 전체 공급 사슬에 걸쳐 가시성

을 확보할 수 있게 되었고, 비축고(stockpile) 최소화, 병목 현상의 감소, 계획되지 않은 장비의 다운타임(downtime) 최소화 등을 통해 최적화된 생산이 가능해졌다. 상류 작업에 관한 정보와 어드밴스드 애널리틱스 및 모델링을 통해 생산 변수의 관리가 최적화되면 결과적으로 엔드-투-엔드 시스템 내에서의 변동성을 줄이고, 전체적인 처리량을 증가시킬 수 있다.

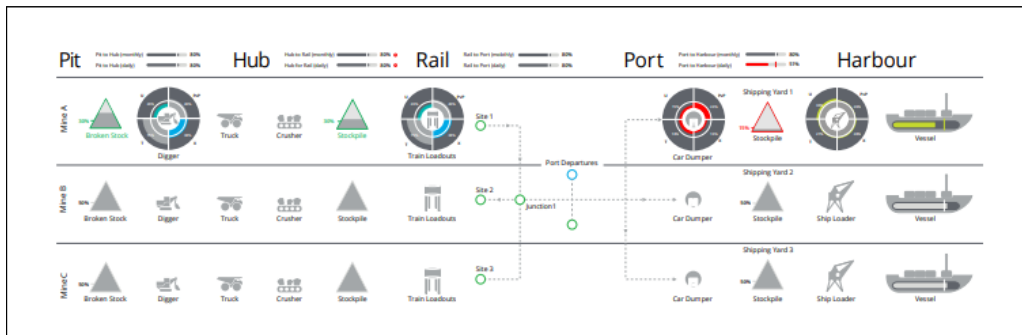
전 단계에 걸쳐 복합·통합 의사결정을 할 수 있게 되면 품질관리도 수월해진다. 광물의 특성 및 광물 흐름에 대한 이해 및 최적화는 폐광물과의 혼입(dilution)에 따른 품질 저하를 최소화하여 전체적인 품질 향상도 가능케 한다. 또한, 고객의 니즈를 반영한 배치(batch) 생산도 가능하다. 기존에는 생산량에 집중하다 보니 공정으로 보내지는 광석 품질의 변동이 컸다. 결과적으로 공정 과정의 생산성이 떨어지고, 생산품의 변동도 컸다. 통합 배치(batch) 혹은 레시피(recipe) 생산을 할 경우, 변동성을 줄이고 예측성을 높일 수 있으며 고객의 특정한 요구 사항에 생산을 맞출 수도 있다.

통합 장비관리를 통해 장비 운영의 효율화도 꾀할 수 있다. 통합 상황 모니터링은 센서를 통해 라이브 데이터를 제공받아 다양한 장비를 지속적으로 모니터링할 수 있게 해주고, 장비 고장이나 비정상적 작동 등에 대해 미리 경고/알림을 해줄 수도 있다. 이를 통해 기기 중단(ou tage)을 감소시키고 잠재적 장비 고장 사고를 예방할 수 있다. 또한, 예측 분석을 통해 원시 데이터를 쉽게 이해할 수 있고, 실행 가능한 인사이트로 변환할 수 있으며, 머신러닝을 통해 known/unknown 패턴을 탐지하여 자산관리가 언제 필요할지 파악할 수 있다. 디지털 트윈 기술로도 라이브 데이터를 시각화 시켜, 장비의 고장을 예측하도록 시뮬레이션을 돌릴 수 있게 된다. 이 모든 과정이 예상치 못한 다운타임이나 운영비용을 감소시켜주고, 자산의 퍼포먼스와 가용성을 높여준다.

이와 같은 통합 운영센터는 현장에 있을 수도 있고 또는 멀리 떨어져 있어도 원격운영 센터에서 통제가 가능하다. 직원들은 실시간/원격으로 비디오 피드나 기타 디지털 툴, 다양한 데이터 소스를 활용하여 운영 상태를 점검할 수 있으며 여러 작업 현장과 광산을 동시다발적으로 모니터링하고 제어할 수 있다. [그림 5]는 한 글로벌 광산 회사 원격운영

센터의 철광석 엔드-투-엔드 공급망 시각화 톨이다. 16개의 개별적인 시스템으로부터 획득한 데이터를 통해 거의 실시간으로 핵심 운영 매트릭스를 대형 스크린에 시각화하며 클라이언트는 광산에서부터 항구까지의 총 공급망을 통합적으로 살필 수 있게 되었다(EY, 2019).

[그림 5] 엔드-투-엔드 공급체인 시각화 통합관리플랫폼



출처: Deloitte(2017)

### 3. 결어

광산업의 침체기 극복 및 생산성 향상을 위해 전 세계적으로 디지털 전환이 추진되고 있다. BHP나 리오 틴토와 같은 메이저 광산업체들은 이미 10여 년 전부터 본격적으로 자동화 기술을 도입하기 시작하여 큰 비용 절감을 실현하고 있다.

우리나라의 광산업도 이와 같은 디지털 전환을 진행 중이다. 우리나라의 광업기본계획은 광업법에 의해 5년마다 수립되는데 산업통산자원부는 최근 제3차 광업기본계획을 확정했고 적용 기간은 올해부터 2029년까지이다. 동계획에 따르면 광업기본계획에는 광산 현장의 생산성을 높이기 위해 ICT 광산 장비의 보급을 늘리고, 광산 작업 공정 전반을 무인화, 자동화하는 스마트 마이닝<sup>8)</sup>을 시범 도입하기로 되어있다. 우선, 2021~2023년은

8) 원격지에서 실시간으로 광물의 위치를 파악하고 조업 상황과 위해 요소를 모니터링해 제어하는 시스템이다

적재와 운반 작업에 시범 적용하고, 2024년 부터는 시추/발파 등으로 확대하며, 광산 재해를 줄이기 위해 안전시설과 인프라를 확충할 예정이다. 2029년까지 작업자의 교육환경과 질을 개선하기 위해 가상현실(AR), 시뮬레이터 등 선진 교육 장비도 도입예정이라고 한다.

한국광물자원공사도 디지털 전환시대에 대비하여 디지털 마이닝랩(Digital Mining Lab)을 신설하고 지질 모델링, 입체측량 등 관련 기술개발에 박차를 가하고 있다. 특히, 드론에 3D 레이저 스캐너를 달아 개발예정지를 입체적으로 촬영하여 광산을 설계하는데 활용하는 방안을 2018년 국내 노천채광을 계획하는 석회석 광산에 적용한 것으로 알려져 있다(한국에너지, 2018.11.05.).

광업의 디지털 전환은 국내 자원개발 사업의 생산성 개선 및 안정성 확대를 위해서도 필요하지만, 전 세계 광산업의 디지털 전환에 따라 광산업 지원 ICT 장비 산업의 지형이 새롭게 재편되어 우리나라 IT 기술을 접목한 첨단 장비/기술 업체들에게도 기회가 될 수 있을 것으로 전망된다. Zion Market Research(2019)에 따르면 디지털 마이닝의 시장 규모는 2018년 86억불에서 연평균 14.5%씩 성장하여 2025년에는 222억불까지 성장할 것이라고 한다(김현태, 2020.05.15.). 우리나라는 에너지자원의 소비 비중이 높은 국가들에 비해 현장 기술력은 부족하지만 디지털 전환에 필수적인 ICT 분야가 발달되어 있고, 지능형 빅데이터 분석기술을 개발할 수 있는 고급 인력도 보유하고 있다. 따라서, 우리 기업들이 디지털 마이닝 시장에도 적극 진출할 수 있도록 최신 트렌드를 반영한 다양한 선도적 기술 개발 및 산업 육성이 필요할 것으로 보인다.

## 〈참고문헌〉

- 국제원자재: [http://www.koreapds.com/commodity/kp\\_customer/customer\\_pr\\_view.php?seq=529&page=2](http://www.koreapds.com/commodity/kp_customer/customer_pr_view.php?seq=529&page=2)
- 김현태(2019), “4차산업혁명 시대 자원개발 산업의 디지털 전환 기술개발 동향”, 한국자원공학회지, 제56권 제5호, pp.514-528.
- \_\_\_\_\_(2020.05.15.), “스마트 자원개발 플랫폼 기반, 서비스 신산업 육성 필요”, 《가스신문》.
- 외교통상부·에너지경제연구원(2008), “에너지·자원 개발의 이해”, 대한민국 정책 브리핑.
- 유광석(2018), “스마트 광물 개발/활용 기술”, 《NICE》, 제36권 제5호, pp. 542-560.
- 장형두(2019), “4차산업혁명에 대처하는 호주 광업의 변화와 미래 전망”, 《한국자원공학회지》, 제56권 제5호, pp.490-513.
- 조성준(2016.04.06.), “3D 지질모델링과 미래”, 한국지질자원연구원, 2020.05.05.,  
[https://www.kigam.re.kr/gallery.es?mid=a10703030000&bid=0005&b\\_list=8&act=view&list\\_no=2674&nPage=5&vlist\\_no\\_npage=0&keyField=&keyWord=&orderBy=](https://www.kigam.re.kr/gallery.es?mid=a10703030000&bid=0005&b_list=8&act=view&list_no=2674&nPage=5&vlist_no_npage=0&keyField=&keyWord=&orderBy=)
- 《Kotra 해외시장뉴스》(2019.02.20.), “다시 살아난 호주 광산업의 비결은?”.
- 《레일뉴스》(2019.01.23.), “호주 Rio Tinto 철광회사, 장거리화물열차 무인자동 운행 본격화”.
- 《사이언즈타임즈》(2018.12.06.), “광산에 디지털 접목되자 수익이 ‘쑥’”.
- 《산업통상자원부 보도자료》(2020.01.06.), “「제 3차 광업 기본계획」 확정”.
- 《한국경제》(2018.07.12.), “삼표, ‘디지털 마이닝’에 역량 집결...광산서 채굴·생산·출하 등 통합관리”.
- 《한국에너지》(2018.11.05.), “광물자원공, “광산 환경 정보화”...디지털마이닝 기술 발표회”.
- Accenture(2016), “Digital Mining”. accenture, 2020.05.06.,  
[https://www.accenture.com/\\_acnmedia/pdf-26/accenture-resources-digital-mining.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-26/accenture-resources-digital-mining.pdf)
- Deloitte(2017), “The digital revolution, mining starts to reinvent the future”.  
 2020.04.02., <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/>

- Documents/Energy-and-Resources/deloitte-au-er-digital-revolution.pdf  
 EY(2019), “Future of work: The economic implications of technology and digital mining”. 2020.04.20., <https://minerals.org.au/news/future-work-economic-implications-technology-and-digital-mining>
- McKinsey&Company(2015), “How digital Innovation can improve mining productivity”. 2020.04.16., <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-digital-innovation-can-improve-mining-productivity>.
- Mining Technology(2019.4.10.), “Talking points” the top 10 digital mining trends”.
- PwC(2018), “We need to talk about the future of mining”. 2020.05.01., <https://www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/assets/pwc-mining-transformation-final.pdf>.
- WEF(World Economic Forum)(2017), “Digital Transformation Initiative-Mining and Metals Industry”. 2020.04.10., <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf>.
- Young, Aaron and Pratt Rogers (2019), “A Review of Digital Transformation in Mining” Mining, Metallurgy & Exploration. Springer.